

Ⅲ-B72

トンネルの切羽安定性に関する実験的研究

奥村組 正会員 浅野 剛 奥村組 正会員 西村正夫
奥村組 正会員 増井 仁 奥村組 正会員 亀田 茂

1. はじめに

トンネルを施工するにあたっては切羽を安定させることが最大の課題であり、地山の支持力が不足し切羽が自立しないと判断される場合には様々な補助工法の適用が検討される。筆者らは、その検討の一助とすることを目的として、切羽の崩壊形態および補助工法による切羽の安定効果に関するデータを得るために、切羽が表現可能なトンネルの模型を装備した土槽を用い模型実験を実施してきた。本報告は、その実験結果の一部および実験と並行して実施した個別要素法による解析結果について報告するものである。

2. 実験概要

実験は図-1に示すように、切羽板および天板から構成されるトンネル縦断面の模型を設置した土槽を用い実施した。土槽は幅1.4m、高さ1.0m、奥行き0.3mである。トンネル縦断面の形状は土槽奥行き方向に一定であり二次元的な実験となっている。実験では、豊浦標準砂を用いて気中落下により相対密度を77%に管理した模型地盤を作成した後、切羽板を18mm後退させロードセルにより切羽板の作用荷重の推移を測定した。切羽板は、その前面をあらかじめ天板先端より18mmだけ前方に出してセットし、最終的な切羽板前面の位置が天板先端と同一となるようにした。また、地表面の変位はレーザー変位計により、地盤変位については模型地盤に埋めた青色のガラスビーズの移動により把握した。切羽板の高さ D は20cm、土被り H は10、20、40cmとし、各ケースごとに各々2回ずつ実験を実施した。実験ケースを表-1に示す。

3. 実験結果

切羽板に作用する平均土圧 P_f の推移を図-2に示す。 P_f は切羽板の変位 δ_f の増加にともない急激に減少する。その変化はCASE 1、2の場合には $\delta_f = 0.05\text{mm}$ で、CASE 3の場合には $\delta_f = 0.1\text{mm}$ ではほぼ収束している。 $\delta_f \geq 0.1\text{mm}$ では P_f の減少は小さく $\delta_f = 1.2\text{mm}$ 近傍で最小値 P_{fmin} となる。 P_{fmin} は H の影響をほとんど受けておらず、いずれのケースにおいてもほぼ0.25kPaとなった。図-3はガラスビーズの移動から観察された $\delta_f = 18\text{mm}$ の時点のすべり面の発生状況である。CASE 1、2についてはすべり面が地表面まで達していた。天板高さより深い部分のすべり面の形状は村山¹⁾が提案した対数らせんとはほぼ一致しており、 P_{fmin} と同様 H の影響は見られない。天板高さでのすべり土塊の幅は8cmとなっており、この部分を仮想落とし戸幅と考えると今

表-1 実験ケース

CASE	D (cm)	H (cm)	D_r (%)
1-1, 1-2	20	10	77
2-1, 2-2	20	20	77
3-1, 3-2	20	40	77

察された $\delta_f = 18\text{mm}$ の時点のすべり面の発生状況である。CASE 1、2についてはすべり面が地表面まで達していた。天板高さより深い部分のすべり面の形状は村山¹⁾が提案した対数らせんとはほぼ一致しており、 P_{fmin} と同様 H の影響は見られない。天板高さでのすべり土塊の幅は8cmとなっており、この部分を仮想落とし戸幅と考えると今

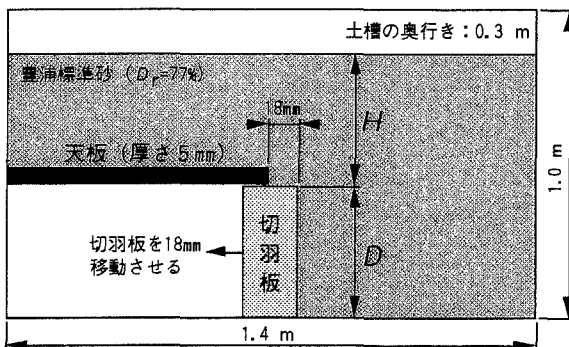


図-1 実験土槽

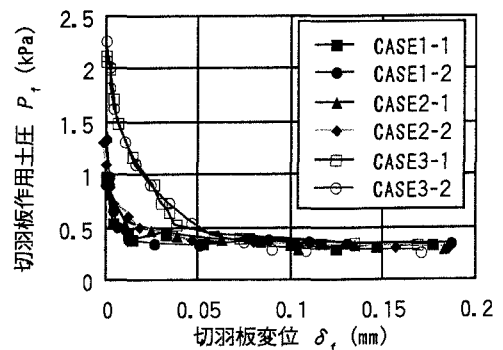


図-2 切羽板用土圧の推移

キーワード：切羽の安定、補助工法、個別要素法

連絡先：〒300-2612 つくば市大字大砂387 TEL 0298-65-1785 FAX 0298-65-1522

回の実験ではいずれのケースにおいても $1.25 \leq H/(\text{落とし戸幅})$ となっている。したがって、ここに作用する鉛直土圧はほぼ Terzaghi の土圧に等しくなり、その値はほぼ同じ値となる²⁾。この結果 P_{fmin} に対する土被りの影響が見られないものと考えられる。相対密度77%で平面ひずみを仮定した場合の内部摩擦角は 48° であり³⁾、この値を用いて村山の方法により算定した切羽作用土圧は 0.3kPa となり P_{fmin} とほぼ一致する。

4. DEMによる解析結果

実施した実験のうちCASE 2 に対応する解析例を示す。図-4が解析に用いた初期要素配列である。解析は文献(2)と同じ手順で実施した。ただし、要素間摩擦角は切羽の初期作用土圧および最小値が実験結果と一致するように 20° と設定した。この値は、実験での標準砂の摩擦角 (48°) よりかなり小さくなっているが、これは解析での要素間の噛み合わせ効果に起因するものと考えられる。

図-5に、解析により得られた P_t の推移を実験結果とともに、図-6、7に $\delta_t = 0.1 \sim 0.2\text{mm}$ 、 $0.7 \sim 0.8\text{mm}$ 間に発生した要素の変位ベクトル分布を示す。これから明らかなように、 δ_t が小さい場合には水平方向の変位が卓越しているのに対し、 δ_t が大きくなると鉛直方向の変位が卓越しておりその境界は $\delta_t = 0.4\text{mm}$ 程度であった。補助工法における先受け効果を考える場合、変位の卓越方向が変わることによりその効果を発揮するメカニズムが異なるものと推測される。例えば、AGF等における先受けの効果が先受け部材の曲げ抵抗によるもの仮定すれば、切羽前方地盤の鉛直方向成分が卓越してきた時点、すなわちある程度 δ_t が生じた時点で初めて先受け部が有効に作用するものと考えられる。

5. まとめ

個別要素法により実験における切羽作用土圧の推移、切羽前面のすべり土塊の形状を表現できることを示した。今後、土槽実験により本報告で考察した先受け効果が発揮されるメカニズムの変化に関する検討を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 村山朔朗：トンネル土圧、第3回トンネル工学シンポジウム、1966.
- 2) 浅野剛他：個別要素法による落とし戸実験の分析例、土木学会第52回年次学術講演会、1997.
- 3) 地盤工学会編：土の強さと地盤の破壊入門、pp64～70、1987

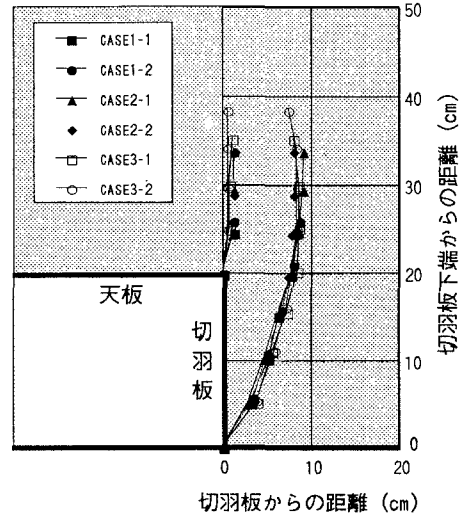


図-3 すべり面の発生状況

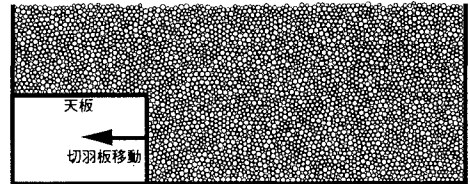


図-4 個別要素法における初期要素配列

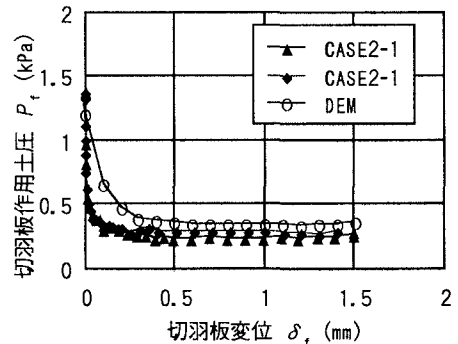


図-5 切羽板用土圧の推移（解析と実験）

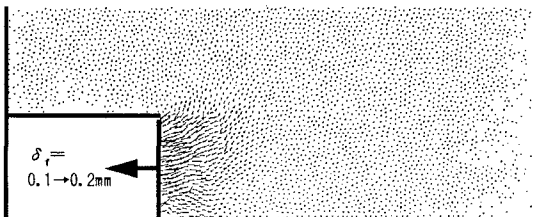


図-6 解析における要素変位分布 ($\delta_t = 0.1 \rightarrow 0.2\text{mm}$)

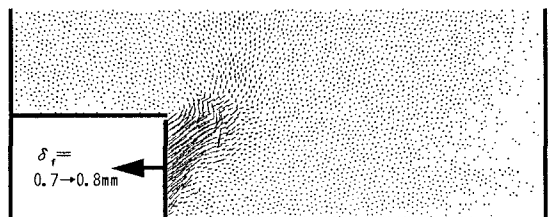


図-7 解析における要素変位分布 ($\delta_t = 0.7 \rightarrow 0.8\text{mm}$)